بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه،گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)

گرایش : اتمی – ملکولی

عنوان:

سایه نگاری از پلاسمای تولید شده درمیدان لیزر نانو ثانیه

استاد راهنما :

دکتر نادر مرشدیان

عضو هیات علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

استاد مشا ور :

دکتر امیر حسین فرهبد

عضو هیات علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

پژوهشگر :

لیلا اصفهانی

تابستان 1390

تقدیم به :

به سپاس بزرگوارترین انسان هایی که در روزگار زمستانی، تکیه گاه گرم و بی منت هستند.
به سپاس قلب های بیکرانی که در تنگنای زندگی آرامش می بخشند.
به سپاس وجود مقدس آنهایی که محبت هایشان هرگز فروکش نمی کند.
به سپاس عظمت انسان هایی که حضورشان، معنابخش زندگی و روشن گر راهمان است.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

سپاسگذاری :

سپاس مخصوص آن قدرت بی حد و پایانی است، که سراسر جهان بزرگ به اراده توانای او می گردد. و موجودات خرد و درشت مقهور تدبیر اویند.

با سپاس از سه وجود مقدس:
آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم ...
موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم ...
و عاشقانه سوختند تا گرما بخش وجود ما باشند ...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

باسپاس فراوان از راهنمایی های استادان ارجمندم جناب آقای دکتر نادر مرشدیان و جناب آقای دکتر امیر حسین فرهبد که مشاورت آنها راه گشای مشکلات من بود.

و با سپاس فراوان از استاد گرانقدر سرکار خانم فرامرزی که زحمت داوری این مجموعه را بر عهده داشتند.

بسمه تعالی

تعهد اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب **لیلا اصفهانی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **فیزیک اتمی-ملکولی** با شماره دانشجویی **87085113300** اعلام می‌نمایم که کلیه مطالب مندرج در این پایان‌نامه با عنوان **سایه نگاری از انبساط پلاسما در میدان لیزر نانو ثانیه** حاصل کار پژوهشی خود بوده و چنانچه دستاوردهای پژوهشی دیگران را مورد استفاده قرار داده باشم، طبق ضوابط و رویه‌های جاری، آنرا ارجاع داده و در فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام. علاوه بر آن تاکید می‌نماید که این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر ارائه نشده و چنانچه در هر زمان خلاف آن ثابت شود، بدین وسیله متعهد می‌شوم، در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام توسط دانشگاه، بدون کوچکترین اعتراض آنرا بپذیرم.

تاریخ و امضاء

بسمه تعالی

در تاریخ : 90/6/30

دانشجوی کارشناسی ارشد خانم **لیلا اصفهانی** از پایان‌نامه خود دفاع نموده و با نمره **19** بحروف **نوزده** با درجه **عالی** مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما:

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده 1

فصل اول: مقدمه ای بر روش های مختلف شناسایی پلاسما 2

1-1 پلاسمای لیزری 3

2-1 روش های مختلف شناسایی مشخصات پلاسما 4

1-2-1- موانع موجود در شناسایی پلاسما 5

2-2-1روش کاوه مغناطیسی 6

3-2-1 مشخصه گیری به روش کاوه الکتریکی 7

4-2-1 شناسایی مشخصات پلاسما به روش بیناب نمایی 7

5-2-1 مشخصه گیری به روش میکرو موجی 8

1_2_1_5_ تداخل سنجی، قطبش سنجی،رگه نگاری و سایه نگاری 9

2_2_1_5_ محاسبه چگالی الکترون در روش تداخل سنجی 12

3_2_1_5_ انواع تداخل سنج ها 15

الف – تداخل سنج مایکلسون 15

ب- تداخل سنج ماخ – زندر 17

4_2_1_5_ گسیل سیکلوترونی الکترون (ECE) 18

6-2-1 مشخصه گیری به کمک لیزر 18

فصل دوم: اصول فیزیکی سایه نگاری از پلاسمای حاصل از اندرکنش لیزر با ماده 19

1-2- روش رگه نگاری 20

2- 2سایه نگاری 23

1-2-2 رابطه سایه نگاری با ضریب شکست پلاسما 24

3-2 روش ثبت مشخصات پلاسما به کمک فرانژهای انکساری 25

4-2 بررسی تاثیر جنس هدف در فریزهای حاصل از فرساب لیزری 27

5-2 بررسی انبساط سطح جلویی و پشتی پلاسمای حاصل از فرساب لیزری 32

6-2 مقایسه تداخل سنجی و سایه نگاری 36

فصل سوم: شرح آزمایش سایه نگاری از انبساط پلاسما درمیدان لیزر نانو ثانیه 43

1-3 دستگاه های مورد نیاز برای انجام آزمایش 45

2-3 شرایط آزمایش و نحوه تشکیل پلاسما 47
3-3 ثبت و بررسی تصویر های حاصل از سایه نگاری 50
4-3 داده های تجربی 52
1-4-3 انرژی لیزر 52
1-1-4-3 بررسی چند نمونه از تصویر های سایه نگاری 56
2-4-3 میزان پیش روی پلاسما نسبت به زمان 60
3-4-3 سرعت پیش روی موج یون- صوت 70
4-4-3 دمای پلاسما 73
بحث و نتیجه گیری 77
پیشنهادها 79
پیوست 1- اثبات رابطه (3-1) 80
واژه نامه فارسی به انگلیسی 82
واژه نامه انگلیسی به فارسی 84
فهرست منابع 86

فهرست نمودار

عنوان **صفحه**

نمودار2-1: مکان جبهه موج پلاسمای حاصل 35
نمودار 3-1: برازش موقعیت مکان جبهه 65
نمودار 3-2: برازش موقعیت مکان جبهه 65
نمودار 3-3: رفتار زمانی مکان لبه جبهه موج یون- صوت سطح جلویی ... .70
نمودار 3-4: سرعت انتشار موج یون- صوت 72
نمودار 3-5: سرعت انتشار موج یون- صوت ... .72
نمودار 3-6: سرعت انتشار موج یون- صوت ... .73
نمودار3-7: دمابرحسب زمان برای پلاسمای....74
نمودار3-8: دمابرحسب زمان برای پلاسمای 75
نمودار3-9: دمابرحسب زمان برای پلاسمای 75

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل1-1: دستگاه مختصات برای پرتوی لیزر 14
شکل1-2: نمونه ای از آرایش تداخل سنج 16
شکل1- 3: آرایش تداخل سنج ماخ زندر برای اندازه گیری چگالی پلاسما [12] 17
شکل 2-1: طرحی از روش رگه نگاری [19]. 21
شکل 2-2: تصاویر رگه نگاری که نزدیک شدن 23
شکل 2-3: طرحی از روش مورد استفاده درسایه نگاری [19]. 23
شکل 2-4: طرحی از انحراف زاویه ای پرتو 24
شکل 2-5: طرحی از انحراف پرتو کاوش 26
شکل 2-6: تصویرهای حاصل از سایه نگاری... 29
شکل 2-7: تصویرهای حاصل از سایه نگاری 29
شکل 2-8: تصویرهای حاصل از سایه نگاری 29
شکل 2-9: رفتار تجربی توزیع چگالی الکترونی... 30
شکل2-10: وابستگی توزیع مکانی چگالی 31
شکل 2-11: مقایسه توزیع چگالی الکترونی.... 32
شکل 2-12: آرایش تجربی استفاده شده برای 33
شکل 2-13: تصاویری از پلاسمای سطح 34
شکل 2-14: تصاویر سایه نگاری از جبهه 34
شکل 2-15: (تصویر چپ) نمونه ای از تصویر سایه نگاری].... 37
شکل 2-16: مقایسه تصویرهای تداخل ستجی (چپ) 38
شکل 2-17: a) مقایسه انبساط مکان- زمانی موج یون-صوت] 39
شکل 2-18:مقایسه تداخل سنجی (چپ) 40

شکل 2-19: بررسی مکان زمانی تداخل سنجی مربوط به شکل 2-20[16].....41
شکل3-1: آرایش تجربی استفاده شده برای سایه نگاری از پلاسما.....45
شکل 3-2: تصویری ازورقه آلومینیوم 49
شکل 3-3: طرح ایجاد شده روی اسیلوسکوپ در زمان 62/55 نانو ثانیه.....57
شکل 3-4: تصویرسایه نگاری در زمان 62/55 نانو ثانیه. 57
شکل 3-5: طرح ایجاد شده روی اسیلوسکوپ در زمان 88/87 نانو ثانیه.....58
شکل 3-6: تصویر سایه نگاری با انرژی 192 میلی ژول،در زمان 88/80 نانو ثانیه.....58
شکل 3-7: طرح ایجاد شده روی اسیلوسکوپ در زمان 98/50نانو ثانیه.....59
شکل 3-8: تصویر سایه نگاری با انرژی 192 میلی ژول،در زمان98/50نانو ثانیه.....59
شکل 3-9:تصویرهای سایه نگاری از 63
شکل 3-10: تصویرهای سایه نگاری از ... .67
شکل 3-11: تصویرهای سایه نگاری از 68

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول2-1:مقایسه مشاهده پذیری 42
جدول 3-1: انرژی خروجی لیزر 53
جدول 3-2: انرژی خروجی لیزر 54
جدول3-3: انرژی خروجی لیزر 55
جدول3-4: اطلاعات مربوط به 58
جدول3-5: اطلاعات مربوط به 59
جدول 3-6: مقادیر اندازه گیری شده 63
جدول 3-7: مقادیر اندازه گیری شده 64
جدول 3-8: مقادیر اندازه گیری شده.....69
جدول 3-9: مقادیر اندازه گیری شده.....69
جدول 3-10 : کمیت های موج یون-صوت در 76

چکیده

در این پایان نامه انبساط پلاسمای حاصل از لیزر نانو ثانیه به روش سایه نگاری مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، با استفاده از هدفی نازک، علاوه بر شناسایی پارامتر های پلاسمای سطح جلویی، پلاسمای سطح پشتی هدف هم مورد مطالعه قرار گرفته است. در این آزمایش از برهمکنش پرتو لیزر Nd:YAG با طول موج 1064 nm با هدفی از جنس آلومینیوم به ضخامت 0/05 mm برای تشکیل پلاسما و از هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG به طول موج 532 nm به عنوان پرتوی کاوش برای سایه نگاری پلاسما استفاده شده است. آزمایش ها در فشار 1 اتمسفر انجام شد. تصاویر حاصل از سایه نگاری، از 10 تا 100 نانو ثانیه پس از تشکیل پلاسما به کمک دوربین CCD ثبت و با استفاده از نرم افزار Data Ray تحلیل شده اند. با استفاده از تصاویر حاصل از سایه نگاری، فاصله لبه جبهه موج تا هدف تعیین و با به کار گیری مدل فیزیکی انبساط پلاسمایی، سرعت انتشار موج یون- صوت و دمای آن در فشار جو محاسبه شده اند.

کلید واژه: پلاسمای لیزری- سایه نگاری – هدف نازک

فصل اول:

مقدمه ای بر روش های مختلف شناسایی پلاسما

1-1 پلاسمای لیزری

مطالعه پلاسمایی که به وسیله لیزر تولید می شود، یکی از رو به رشد ترین زمینه های فیزیک حال حاضر به شمار می آید. این مطالعات نو آوری های بی شماری در زمینه های تغییر کیفیت مواد، جوشکاری و کنده کاری مواد و مسایل مربوط به سلاح ها با پرتو های توان بالا و از همه مهم تر، تولید انرژی پاک هسته ای داشته است. تا قبل از سال 1980 به جز مقدمه ای کوتاه [1] یا نوشته هایی مختصر [2] هیچ کتابی در این زمینه منتشر نشده بود. اولین مقاله ها درباره مفهوم کلاسیکی لیزر پلاسما به هانس موتز[1]تعلق دارد[3]. پلاسمای لیزری هنگامی تولید می شود که تپ های پر انرژی لیزر بر روی هدف جامد یا گازی متمرکز شوند. پلاسمای حاصل از برخورد پرتو لیزری به دو گروه پلاسمای لیزری منفرد[2] و پلاسمای لیزری برخوردی[3] تقسیم می شود. کاربردهای پلاسمای لیزری منفرد شامل لایه نشانی لیزری(PLD)[4] [4]، چشمه های پر شدت فرابنفش [5] و شتاب دهنده های یونی [6] می باشد. همچنین پلاسمای لیزری نقش مهمی در مسایل مربوط به تولید انرژی [7] کاربردهای صنعتی[8 و 9]، محیطی و ایمنی ایفا می کند. پلاسمای لیزری برخوردی هنگامی ایجاد می شود که یک پرتو لیزری به دو پرتو شکافته و بر روی دو نقطه ازهدف متمرکز شود. بنابر این دو پلاسمای لیزری جداگانه با فاصله ای مشخص (معمولا 10-1 میلی متر) تشکیل می شوند. این دو پلاسما آزادانه منبسط می شوند تا با یکدیگر برخورد کرده و در محدوده ای از فضا با هم تداخل کنند [10]. بسیاری از پدیده هایی که در پلاسما رخ می دهند، هنوز به درستی شناخته نشده اند. برای به دست آوردن فهم بهتری نسبت به فرایندهایی که در پلاسما اتفاق می افتد، لازم است تا حد امکان

[1] Hans Motz
[2] Single laser produced plasmas
[3] Colliding laser produced plasmas
[4] Pulsed Laser Deposition

پارامترهای پلاسما به طور هم زمان و ترجیحاً با تفکیک مکانی و زمانی کمتر از مقیا س های طولی و زمانی نا پایداری های موجود در پلاسما انـدازه گیـری شـوند. چـون بـه نظـر مـی رسـد بسـیاری از ناپایداری ها به تغییرات بیش از یک پارامتر پلاسما بستگی دارد بنابر این لازم است، ثبت مشخصـات پلاسما با چند روش مختلف صورت گیرد.

در روش های تجربی، اندازه گیری کمیت هایی که به سیال مربوط می شود، شامل اندازه گیری فشـار و دما با قرار دادن ابزاری داخل سیال انجام می شود. اما این ابزار غالباً در سیال اختلال ایجاد می کنند یا تفکیک مکانی و زمانی ضعیفی دارند. گـاهی وقـت هـا در چنـین روش هـایی، تحلیـل داده هـای اندازه گیری شده برای به دست آوردن اطلاعات دقیـق دربـاره سـیال مشـکل اسـت. بـه ایـن دلیـل، روش های اندازه گیری دقیقی که در سیال اختلالی ایجاد نمی کننـد مناسـب تـر هسـتند. روش هـای تشخیص نوری، برای چنین اندازه گیری هایی بسیار مناسب هستند. اما به کارگیری این روش ها، تنها با توسعه لیزر ها و فناوری نوری مرتبط با آن ها امکان پذیر شـده اسـت. مرسـوم تـرین روش هـای نوری مورد استفاده برای اندازه گیری پارامترهای سیال، اندازه گیری تغییر ضریب شکست و در نتیجه تغییر چگالی سیال است که شامل روش های تداخل سنجی و رگه نگاری می باشد. تا قبل از اختـراع لیزر اندازه گیری ها با منابع نوری دیگری انجام می گرفت اما امروزه استفاده از لیزر ها، تحول بزرگی در کیفیت اندازه گیری ها، نظیر اندازه گیری چگالی و ... ایجاد کرده است.

2-1 روش های مختلف شناسایی مشخصات پلاسما

روش های مختلف مشخصه گیری از پلاسما که بر پایه محدوده طول موجی امواج الکترو مغناطیسـی از نانو متر تا ده ها سانتی متر صورت می گیرد به شرح زیر است[11]:

- مشخصه گیری مغناطیسی[1]
- کاوه الکتریکی [2]
- بیناب نمایی[3]
- مشخصه گیری میکروموجی[4]
- مشخصه گیری لیزری [5]

عوامل موثر بر پارامترهای پلاسمای تولید شده به وسیله لیزر عبارتند از

- شدت لیزر تابشی
- پهنای زمانی پالس لیزر
- طول موج لیزر
- نوع و جنس هدف
- فشار محیط اندر کنشی

در شرایط یکسان، پارامتر های پلاسما به شدت، با فاصله محوری یا شعاعی نسبت به هدف تغییر می کند. در لحظات اولیه شکل گیری پلاسما، مشخصات ابر پلاسما [6]به کمک توزیع الکترون ها نسبت به دما وچگالی تعیین می شود[12].

1-2-1- موانع موجود در شناسایی پلاسما

متغیر بودن پارامترهای پلاسما: در دستگاه های اندازه گیری به روش مغناطیسی، دما از چند الکترون

---

۱ Magnetic diagnostics
۲ Probe diagnostics
۳ spectroscopy (visible, UV, x-ray)
٤ mm and sub mm diagnostics
٥ laser-aided diagnostics
٦ Plume

ولت در لایه نزدیک به سطح بیرونی تا ده ها کیلوالکترون ولت دربخش مرکزی پلاسما تغییر می کند. همچنین محدوده چگالی از 10^{17} m^{-3} تا 10^{21} می باشد.

بالا بودن دما وچگالی در پلاسما: به خاطر بالا بودن دما و چگالی در همجوشی پلاسماهای امروزی تنها روش هایی کاربرد دارند که تماس فیزیکی با پلاسما نداشته باشند.(به جز کاوه ها[1] که غالباً در لبه های پلاسما به کار می روند).

شناسایی مشخصات پلاسما به طور کلی به دو دسته انفعالی[2] و فعال[3] تقسیم می شوند. هیچ کدام از این روش ها باعث آشفتگی یا اختلال در پلاسما نمی شوند.

- روش انفعالی: تحلیل و بررسی پلاسما به کمک تابش یا ذرات گسیلی از خود پلاسما.
- روش فعال: کاوش پلاسما به کمک امواج الکترومغناطیسی یا ذرات .

1-2-2روش کاوه مغناطیسی

مشخصه گیری مغناطیسی برای میدان های متغیر با زمان، از فرکانس 1000 هرتز تاچندین مگا هرتز انجام پذیر است. در این محدوده فرکانسی است که بسیاری از فرایندهای خاص پلاسما مانند ناپایداری MHD[4] رخ می دهد[11]. این روش ها برای اندازه گیری بسیاری ازپارامترهای اساسی پلاسما مانند جریان پلاسما، شکل، موقعیت، فشار و همچنین برای تعیین ناپایداری ها در پلاسما به کار می رود. چون در روش مغناطیسی از میدان های مغناطیسی خود پلاسما استفاده می شود، این روش، یک روش انفعالی است.

---

۱ Probes
۲ Passive
۳ Active
٤ Magneto hydrodynamics

1-2-3 مشخصه گیری به روش کاوه الکتریکی

کاوه های الکتریکی روش های فعالی هستند که در تماس مستقیم با پلاسما می باشند و تنها در لبه‌های پلاسما کاربرد دارند. شناخته شده ترین آنها کاوه لانگمیر است. استفاده از روش کاوه لانگمیر به خاطر کندی سیستم الکترونیکی اندازه گیری به لحظات اولیه شناسایی مشخصات پلاسمای گذرا محدود می شود[12]. در ساده ترین روش کاوش، نوک میله فلزی عایق شده ای درون پلاسما قرار می گیرد. با اعمال ولتاژ به نوک میله جریانی ناشی از ذرات باردار پلاسما در میله ایجاد می شود. از قسمت نمایی رابطه I-V (جریان - ولتاژ) دمای الکترون در لبه ها به دست می آید. پارامترهای دیگری از پلاسما مانند چگالی الکترون و پتانسیل پلاسما هم از روش کاوه الکتریکی به دست می آیند[11].

1-2-4 شناسایی مشخصات پلاسما به روش بیناب نمایی

شناسایی مشخصات پلاسما به روش بیناب نمایی در محدوده طول موج های بسیار بلند تا طول موج‌های بسیار کوتاه کاربرد دارد. اما در عمل محدوده طول موجی تقریباً از 10 nm تا 10 μm است (همان محدوده ای که شیوه های اپتیکی می توانند به کار گرفته شوند). بیناب نمایی به روش تابش سینکروترون[1] که فقط در تعداد کمی از دستگاه های گداخت به کار می رود می تواند در آینده شیوه استانداردی به جای شناسایی به روش پرتو ایکس[2] باشد. در این حالت حدود 10 μm تابش سینکروترون که اثری از فرار الکترون ها در توکا مک است دیده می شود. روش بیناب نمایی در

[1] Synchrotron Radiation
[2] X-Ray

محدوده طیفی مرئی، فرابنفش- خلا[1]، فرابنفش- ایکس[2] و تابش ایکس نرم اطلاعات زیادی در مورد فرآیندهای اتمی- یونی پلاسما ارائه می دهد. گسیل های پلاسما در این محدوده طیفی، شامل تابش پیوسته (ترمزی و تابش باز ترکیبی) و تابش خطی می باشد. شدت تابش پیوسته تابع پیچیده ای از دمای الکترونی وچگالی و میزان ناخالصی است[11].

5-2-1 مشخصه گیری به روش میکرو موجی

روش میکرو موجی که به آن مشخصه گیری میلی متری و زیر میلی متری هم گفته می شود در محدوده فرکانس1GHz تا 3THz قرار دارد. بسیاری از انواع مشخصه گیری های قدرتمند و پرکاربرد مانند بازتاب سنجی، گسیل سیکلوترونی الکترون (ECE)[3] وجذب سیکلوترونی الکترون[4] (ECA) ، تداخل سنجی و قطبش سنجی در این گروه قرار دارند. به جز ECE همه مشخصه گیری ها در این روش فعال هستند. از روش تداخل سنجی- قطبش سنجی اغلب به عنوان روش مشخصه گیری به کمک لیزر [5]یاد می شود. در روش بازتاب سنجی، موجی با فرکانسی پائین تر از فرکانس قطع به سمت پلاسما فرستاده می شود، در نتیجه موج از لایه چگالی بحرانی باز می تابد.

می توان با اندازه گیری تغییر فاز موج کاوش در مقایسه با موج مرجع و یا با اندازه گیری زمان رفت وبرگشت پالس میکرو موج کوتاه، موقعیت لایه را تعیین کرد. در این روش مشکلاتی برای اندازه گیری قسمت مرکزی نمایه چگالی الکترون وجود دارد زیرا در آنجا تغییرات چگالی بسیار

---

[1] Vacuum Ultraviolet
[2] XUV
[3] Electron cyclotron emission
[4] Electron cyclotron absorption
[5] Laser aided diagnostics